



Workshop Ril 883.2000 und NXO-Net - Allgemeines -

Martin Schmitz,
Stefan Wicke, Andreas Geilmann

Geo++[®] GmbH
30827 Garbsen Germany
www.geopp.com



- Satellitengeodäsie
 - Moderne Koordinatensysteme
- Koordinatensystem DB_REF
 - DB Netz AG Historie, Situation, Anforderungen, ...
 - Amtliche Koordinaten
 - Definition DB_REF/DB_REF2016
- Anwendungen
 - Geo++[®] GNTRANS
 - DB_REF Netz
 - NXO-Net Server
- Zusammenfassung

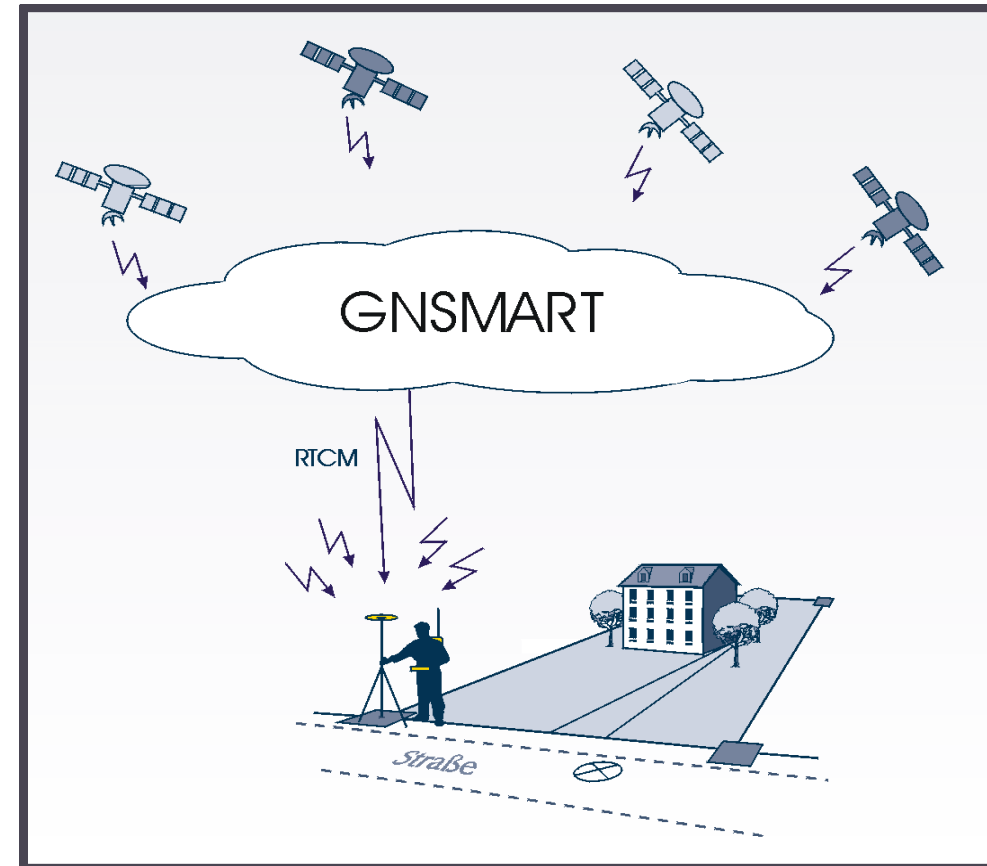


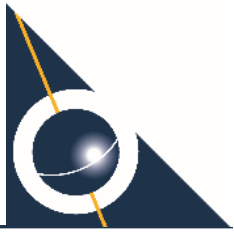
- Satellitengeodäsie
 - Moderne Koordinatensysteme
- Koordinatensystem DB_REF
 - DB Netz AG Historie, Situation, Anforderungen, ...
 - Amtliche Koordinaten
 - Definition DB_REF/DB_REF2016
- Anwendungen
 - Geo++[®] GNTRANS
 - DB_REF Netz
 - NXO-Net Server
- Zusammenfassung

Satellitengeodäsie - Idealsystem



- **Empfang aller notwendigen** Referenz- und Korrektur-**Daten**
- flexible **Kommunikation** über unterschiedlichen Medien (uni- oder bi-direktional)
- Bestimmung **absolute Position**
- (besser) **1 cm Genauigkeit**
 - überall
 - jederzeit
 - statisch/kinematisch





- **satellitengestützte Vermessungstechniken**

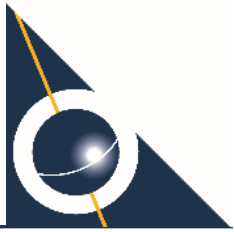
- weltweit GNSS verfügbar bzw. im Aufbau (GPS, GLONASS, Galileo, BDS, QZSS, SBAS, IRNSS)
- mehr als 75+ GNSS Satelliten in Zukunft zu erwarten
- Genauigkeitsbereiche: (mm) ... cm ... dm ... m
- globales kartesisches Koordinatensystem
- homogene Koordinaten
- Anwendungen wachsen stetig

GPS
GLONASS
Galileo
BDS
SBAS
QZSS
SBAS

Global Positioning System (USA)
Globalnaja nawigazionnaja sputnikowaja sistema (Russia)
European Global Navigation Satellite System (EU)
BeiDou Navigation Satellite System (China)
Indian Regional Satellite System (India)
Quazi-Zenith Satellite System (Japan)
Satellite Based Augmentation System (International)

- **Probleme bei der Anwendung**

- inhomogene Koordinatensysteme Grundlage bestehender Daten
- koordinatenmäßig bekannte Punkte als Realisierung notwendig
- bestehende oder eigene Referenzstationen/ GNSS-Dienste direkt nutzen
- Bedingungen/Voraussetzungen abhängig von Anwendung



- **dreidimensionale Koordinatensysteme**
 - geozentrisch, d.h. Ursprung ist Masseschwerpunkt der Erde (praktisch im Bereich von wenigen cm)
 - Z-Achse parallel zur Erdrotationsachse (IERS Referenzpol)
 - X-Achse IERS Referenzmeridian
 - Y-Achse vervollständigt rechtshändiges Koordinatensystem
- **Warum?**
 - Satellitengeodäsie, ...
 - Genauigkeit, Konsistenz, Internationalität, global, ...
- **Beispiele**
 - WGS 84, ITRS/ITRFxx, ETRS/ETRFxx, ...
 - in Deutschland **ETRS89**

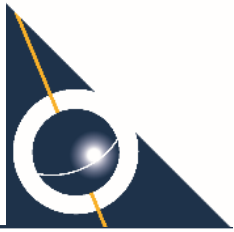
IERS International Earth Rotation and Reference System Service
WGS World Geodetic System
ITRS International Terrestrial Reference System/Frame
ETRS European Terrestrial Reference System/Frame



- **Eigenschaften**
 - ein unveränderlicher Satz von Transformationsparameter (bei Vernachlässigung von Geodynamik)
 - ein Ellipsoid
 - eine Projektion/Abbildung
- **homogene Koordinatensysteme lassen sich**
 - ohne Genauigkeitsverlust
 - jederzeit
 - eineindeutig**ineinander transformieren**



- Satellitengeodäsie
 - Moderne Koordinatensysteme
- Koordinatensystem DB_REF
 - DB Netz AG Historie, Situation, Anforderungen, ...
 - Amtliche Koordinaten
 - Definition DB_REF/DB_REF2016
- Anwendungen
 - DB_REF Netz
 - Geo++[®] GNTRANS
 - NXO-Net Server
- Zusammenfassung



DB_REF Netz

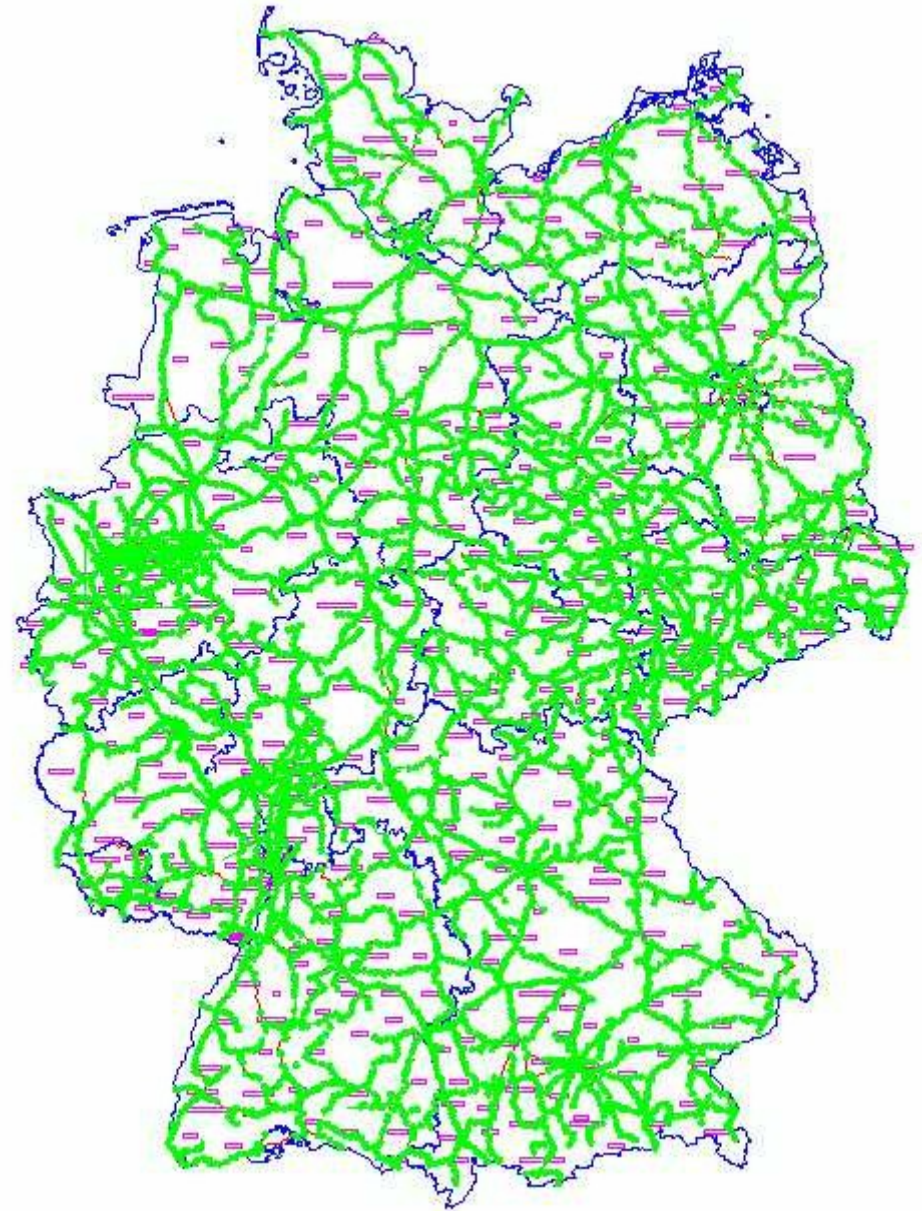
- NXO Projekt 2000 – 2004
- DB_REF Netz
- Erzeugung eines **trassennahen Referenznetzes**
- **Grundlage** des DB_REF für sukzessiven Einsatz **satellitengestützter Messverfahren**
- Anforderungen Örtlichkeit
 - **4 km Raster**
 - standpunktsicher
 - nicht zwingend an der Trasse (**trassennah**)
 - in der Regel auf Brückenbauwerken
 - **geeignet** als **GNSS** Referenzstation
 - geeignet für Datenkommunikation

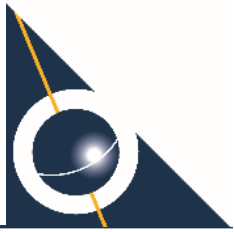


DB_REF Netz - GPS-Beobachtungen



- Projektbeginn 2000
- Messungen 2001 bis 2004
 - 7500 neue Stationen
 - 21000 Beobachtung auf Neupunkten
 - 8100 Sessionen
 - 17000 Datensätze von SAPOS-Stationen und C-Netzpunkten
- Punktabstand ca. 4 km
- Abdeckung **~98 % aller Eisenbahnstrecken**
- **Genauigkeit 3D** (2 Sigma)
 - absolut +/- 10 mm
 - relativ +/- 5 mm





DB_REF Netz – Auswertung

- durch/mit: Post-Prozessing Software Geo++
- vorab: Bestimmung homogener Koordinaten des SAPOS- und C-Netzes (nicht geplant)
- abschließend: Lagerung auf neue amtliche SAPOS-Koordinaten
- Analyse: Sessions- und Netz-Ausgleichung in fünf Blöcken (Lose); Grundlage für Nachmessungen (Datenqualität, Messfehler)
- Netz: bundesweite, mehrstufige, strenge 3D Netzausgleichung mit vollständiger Varianz-Kovarianzmatrix
- **Ergebnis:** homogene ETRF89 Koordindaten der 7500 Neupunkte

Realisierung des DB_REF

Transformation ins DB_REF mit GNTRANS

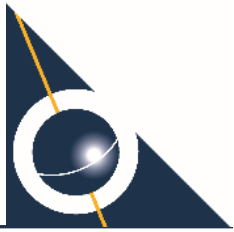


- Satellitengeodäsie
 - Moderne Koordinatensysteme
- Koordinatensystem DB_REF
 - DB Netz AG Historie, Situation, Anforderungen, ...
 - Amtliche Koordinaten
 - Definition DB_REF/DB_REF2016
- Anwendungen
 - DB_REF Netz
 - **Geo++® GNTRANS**
 - NXO-Net Server
- Zusammenfassung

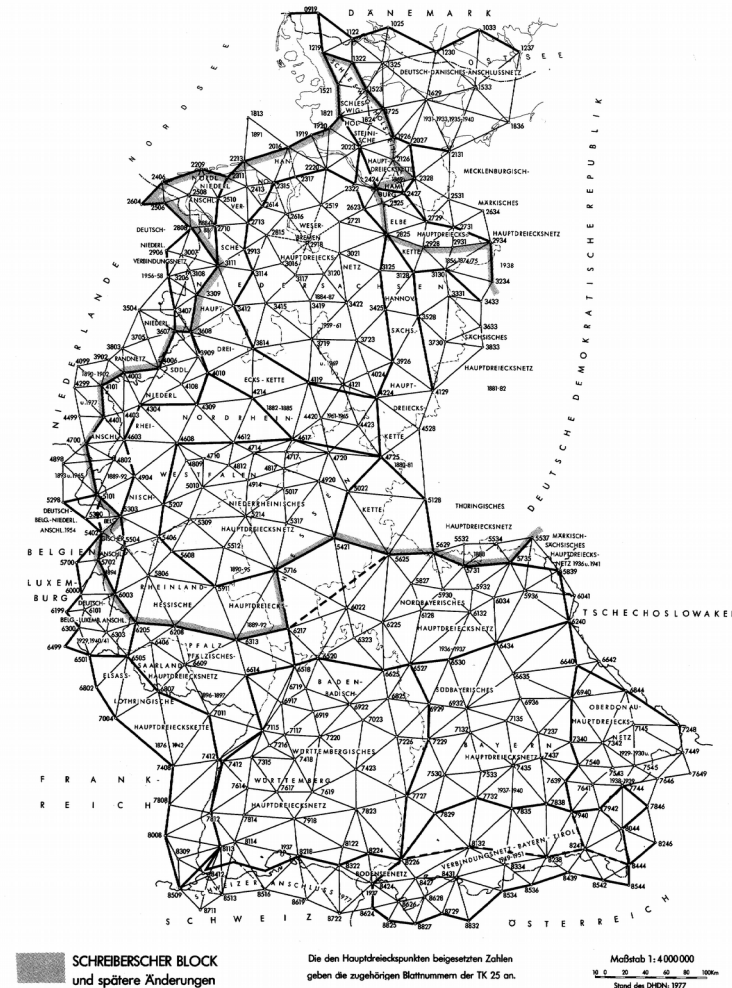


- bundesweite Anwendungen
- **ehemals**
 - Koordinierungen in amtlichen Koordinatensystemen
- **Ziel**
 - ein *einziges* homogenes Koordinatensystem deutschlandweit
 - ein *einziges* Höhensystem deutschlandweit
- **Aufgabe & Konsequenz**
 - ermögliche *homogene Transformation* (für alte und neue Daten)
 - ermögliche flächendeckende Nutzung *homogen koordinierter Referenzstationen und ggf. GNSS-Dienste*
 - ermögliche durchgreifende Nutzung moderner (satellitengestützter) Vermessungsmethoden

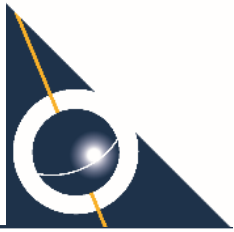
Amtliche Koordinatensysteme



- **historische Entwicklung in Deutschland**
 - unabhängige **2D und 1D Netze**
 - **frühere westdeutsche Länder:**
 - unterschiedliche Vermessungstechniken
 - unterschiedliche Berechnungsverfahren
 - Kombination individueller Netze zwischen 1870 und 1950
 - **frühere ostdeutsche Länder:**
 - vollständige Neuvermessung der Netze ab 1954



Deutsches Hauptdreiecksnetz DHDN (Augath, Kummer 1988)



Unterschiede in

- Projektion
- Datum
- Höhensystem

Rauenberg Potsdam

DHDN STN 42/83 PD 83

RD 83 ETRF 89

Krassowski Bessel GRS 80

Gauß-Krüger Soldner UTM

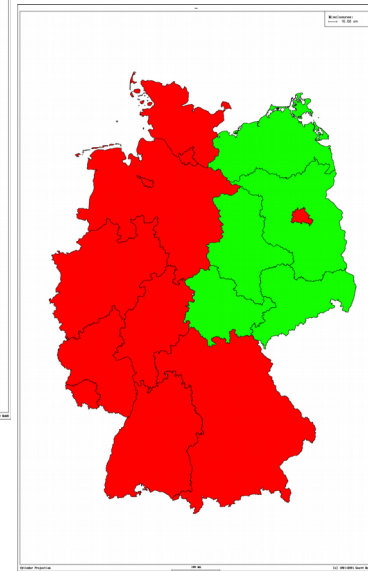
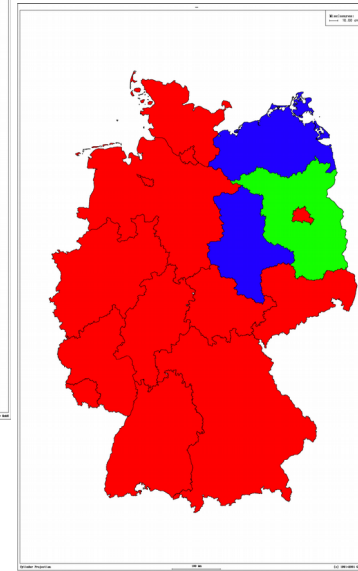
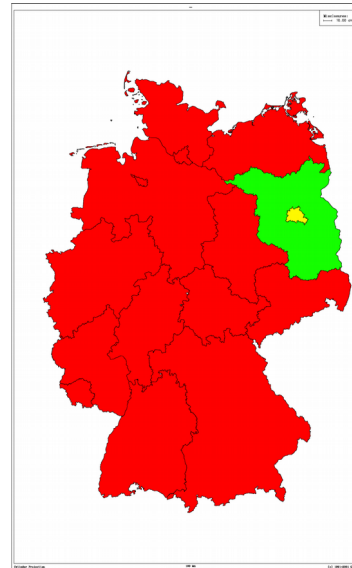
orthometrische Höhe Normalhöhen

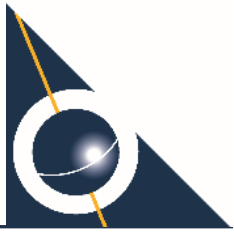
Pegel Amsterdam Pegel Kronstadt

DHHN 12 DHHN 85 HN 76 DHHN 92

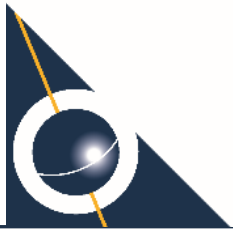
Lagestatus der Länder

- **Netzspannungen**
- zusätzliche **Diskontinuitäten**/Koordinatensprünge
an Ländergrenzen





- Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (**AdV**) **1991-1995**
 - Deutsche Wiedervereinigung und Europäische Integration erfordert ein einheitliches Referenzsystem
 - Referenzsystem identisch zum WGS 84: European Terrestrial Reference System **ETRS89**, Realisierung durch ETRF 89
 - Universal Transversal Mercator Abbildung (**UTM**)
 - Ellipsoid **GRS 80** (Geodetic Reference System)
 - Normalhöhen des Deutschen Haupthöhennetzes (**DHHN 92**)
- **AdV 2016** (eingeführt 1. Dezember 2016)
 - **ETRS89/DREF91** (Realisierung 2016)
 - Deutschen Haupthöhennetzes **DHHN2016**
 - Deutsches Hauptschwerenetz (**DHSN2016**)
 - German Combined Quasigeoid (**GCG2016**)



- **bundesweit**
 - **inhomogene Koordinaten** für Vermessungs- und kartographische Anwendungen, Geoinformation, etc.
 - **inhomogene, inkonsistente Datenbasis und Dokumentation**
 - inhomogene Systeme nicht angemessen für moderne (insbesondere satellitengestützte) Vermessungstechniken
 - **in Zukunft** Übergang auf **homogene Koordinaten** im ETRS89
- **deshalb:**
Umsetzung und Realisierung ETRS89 als DB_REF bei der DB Netz AG



- **Vorgaben**
 - **geringe Maßstabsänderungen** für bestehende Daten
 - **geringe Koordinatenänderungen** (bestehende Karten)
 - **gültiger Standard** um Zusammenarbeit von Wirtschaft- und Verwaltung zu ermöglichen
 - uneingeschränkte Unterstützung von **satellitengestützten Vermessungstechniken**
- **Realisierung**
 - **universell** gültige, eindeutige Transformation
 - **komplettes Gebiet** der Anwendungen abgedeckt durch koordinierte Referenzstationen
 - ausreichende **Genauigkeit für alle Anwendungen** (gleistechnische Vermessung und Berechnung)



- große Maßstabsänderungen ergeben **Probleme bei Trassenbehandlung** (Erhalt von Krümmungen etc.)
- Tabelle zeigt **Maßstabsfaktor** für unterschiedliche Koordinatentransformationen beginnend im amtlichen Bezugssystem (DHDN)

-> Datum	Ellipsoid	Projektion	Maßstab [mm/km] für Abstand vom Zentralmeridian		
			0 km	50 km	100 km
DHDN	BESSEL	GK	0	0	0
		UTM	-400	-400	-400
ETRS89	GRS80	GK	1	1	1
		UTM	-399	-399	-399
DB_REF	BESSEL	GK	±1 bis 10	±1 bis 10	±1 bis 10

DHDN Deutsches Hauptdreicksnetz,
Datum der westdeutschen Bundesländer



- **DB_REF als Konsequenz**
 - **horizontales Referenzsystem**
 - geodätisches Datum
 - **mittleres Datum** der amtlichen Systeme der früheren westdeutschen Länder, Thüringen und Sachsen (7P- Transformation)
 - Ellipsoid
 - **Bessel**
 - Projektion/Abbildung
 - **Gauß – Krüger**
 - **Höhenreferenzsystem**
 - Normalhöhensystem (**DHHN 92**)
 - **homogenes Koordinatensystem**



- **DB_REF2016**
 - **horizontales Referenzsystem**
 - geodätisches Datum
 - **unverändert zum DB_REF**
(7P- Transformation)
 - Ellipsoid
 - **Bessel**
 - Projektion/Abbildung
 - **Gauß – Krüger**
 - **Höhenreferenzsystem**
 - Normalhöhenystem (**DHHN2016**)*
 - **homogenes Koordinatensystem**

* GCG2016 erwartet ETRF89 Lagekoordinaten
bezogen auf GRS80 Ellipsoid



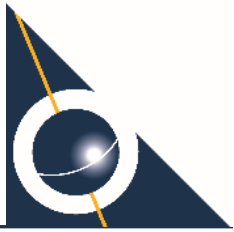
- 2001 **Definition** DB_REF
- 2004 **Einführung** ETRF89 in der Realisierung DB_REF
- 2006 ...
- 2016 **Einführung** ETRF89 in der Realisierung DB_REF2016
(zeitlich mit der Einführung neuer AdV Raumbezug)
- 2016 **Richtlinie 883.2000**



- Satellitengeodäsie
 - Moderne Koordinatensysteme
- Koordinatensystem DB_REF
 - DB Netz AG Historie, Situation, Anforderungen, ...
 - Amtliche Koordinaten
 - Definition DB_REF/DB_REF2016
- Anwendungen
 - DB_REF Netz
 - **Geo++[®] GNTRANS**
 - NXO-Net Server
- Zusammenfassung

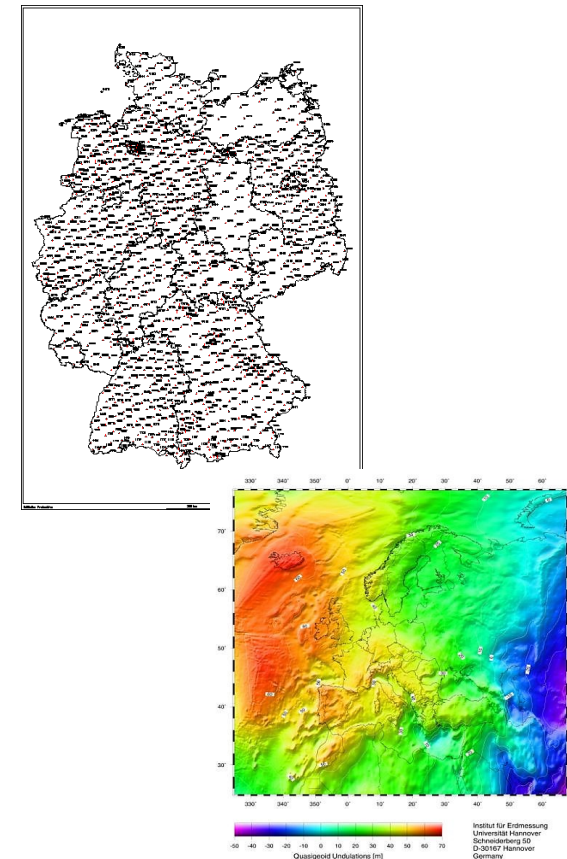


- Geo++[®] **GNTRANS Transformationmodell**
- bundesweites GNTRANS Modul
entwickelt für die DB Netz AG
- **3D Übergang/Transformation** zwischen
 - ETRS 89 Koordinaten
 - amtlichen Landeskoordinaten (Lage, Höhe)
 - homogene Koordinatensystem DB_REF



Grundlage für GNTRANS/Realisierung DB_REF

- **bundesweite Daten der Landesvermessungen** (Stand 2001)
- **horizontale Referenzsystem**
 - abgeleitet aus ~ 1200 identischen 3D Punkten
- **Höhenreferenzsystem**
 - offizielles Höhensystem (zukünftig bundesweit)
 - abgeleitet aus ~ 340 identischen 1D Punkten
- **Geoid EGG97*** (European Gravimetric Geoid 1997)
- **regional (D), homogenes Referenzsystem**



* Lagerung speziell angepasst:
geodätische Lagerung (z.B. DHDN in drei Basispunkten
Meppen, Göttingen und Bonn)

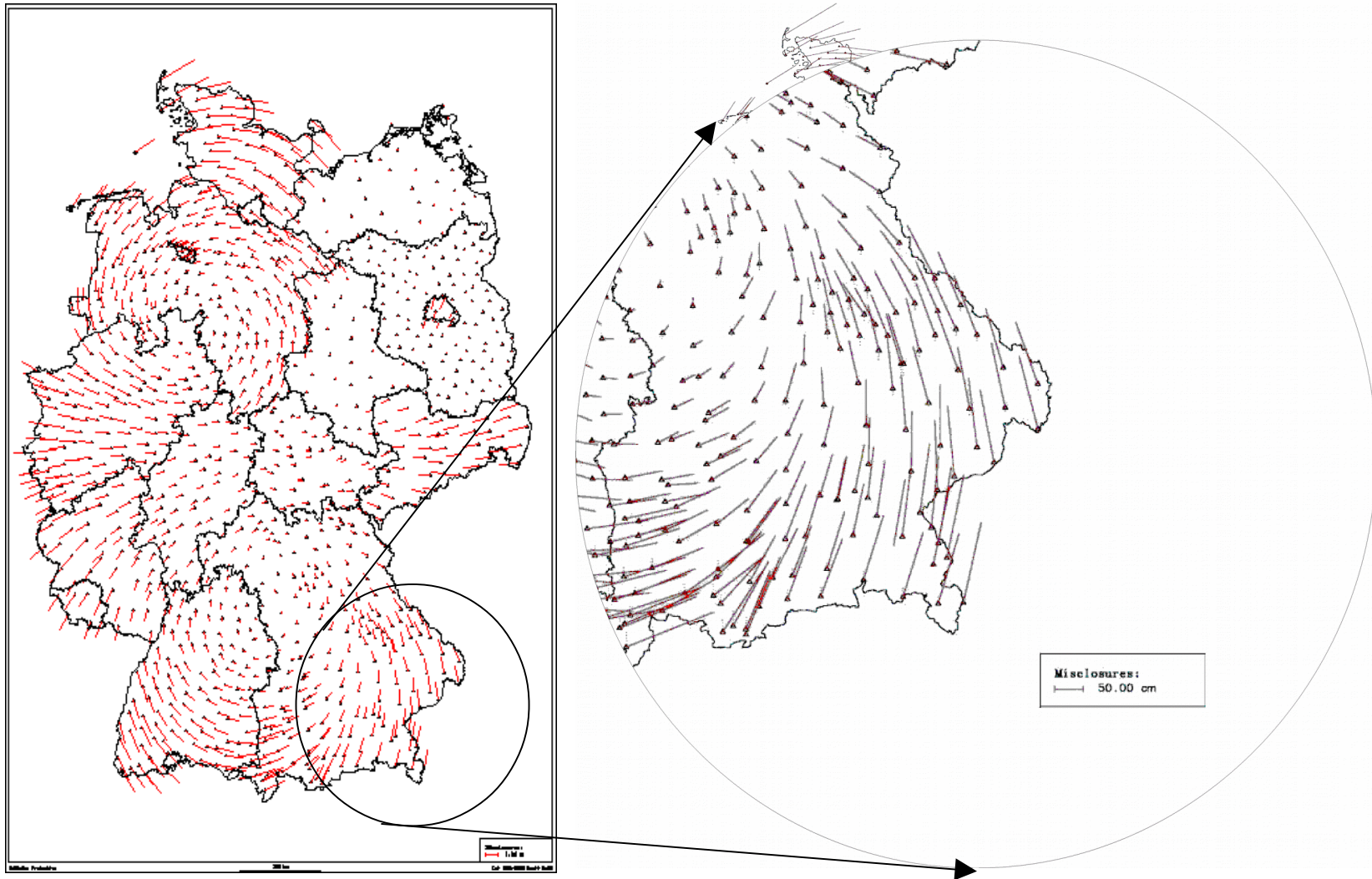
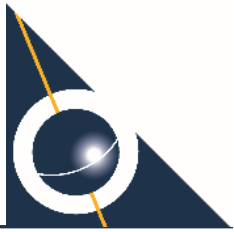


- **mehrstufige Transformation**
- anwendbare Stufen
 - **7P- Transformation**
 - **stetige funktionale Transformation**
 - mathematischer funktionaler Ansatz um verbleibende Residuen zu beschreiben; ausgleichende Flächensplines
 - **stochastischer Anteil**
 - stochastische Prädiktion verbleibende Diskrepanzen unter Berücksichtigung topologischer Nachbarschaften (Dekorrelation entlang Topologie von linienhafter Diskontinuitäten)

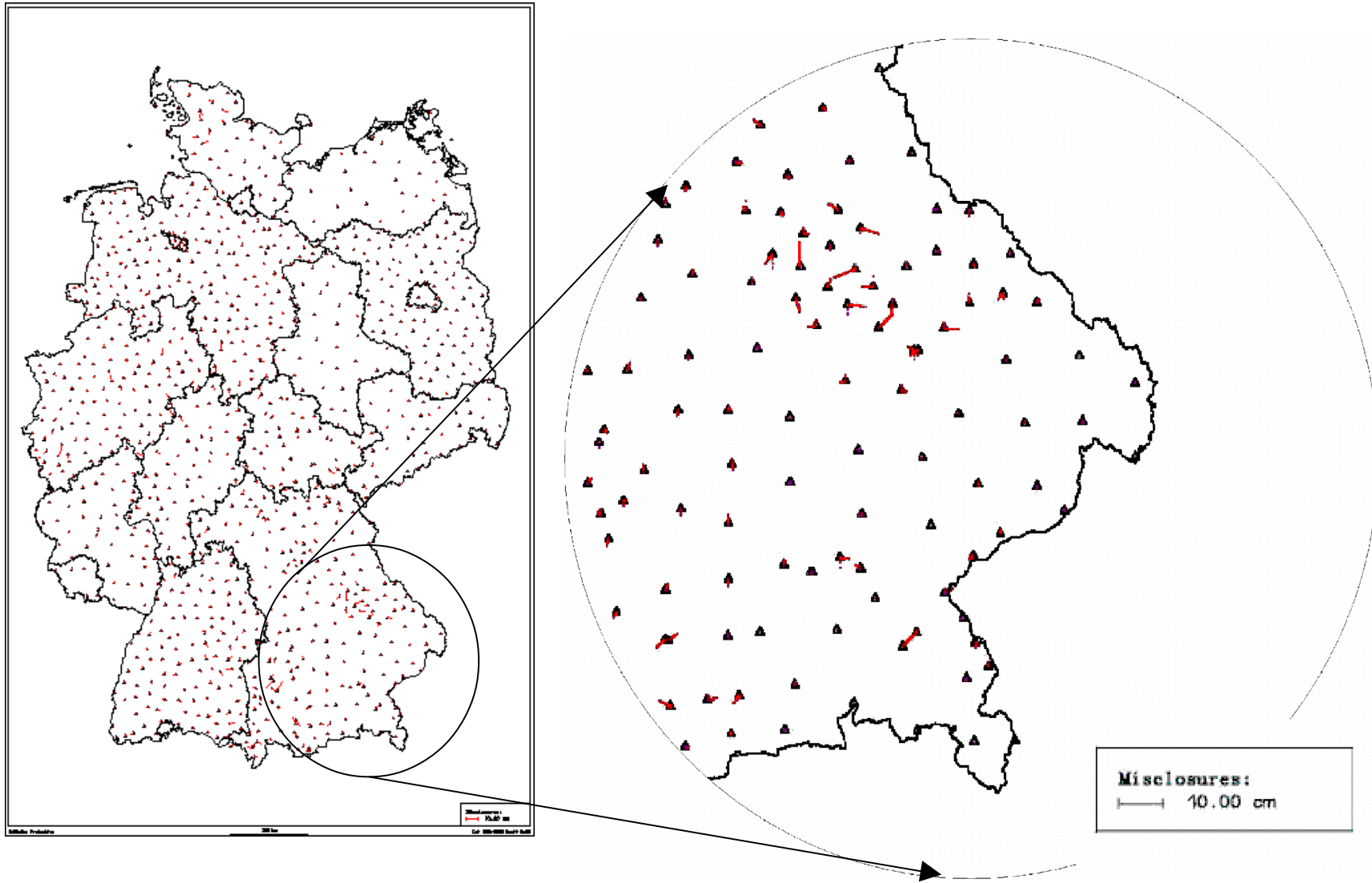
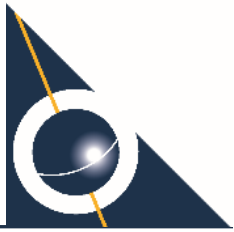


- **Eigenschaften** des Transformationsmodells
 - Nachbarschaftstreue
 - Einheitlichkeit/Standardisierung
 - Homogenität
 - Stetigkeit
 - Berücksichtigung von Diskontinuitäten
 - Eineindeutigkeit

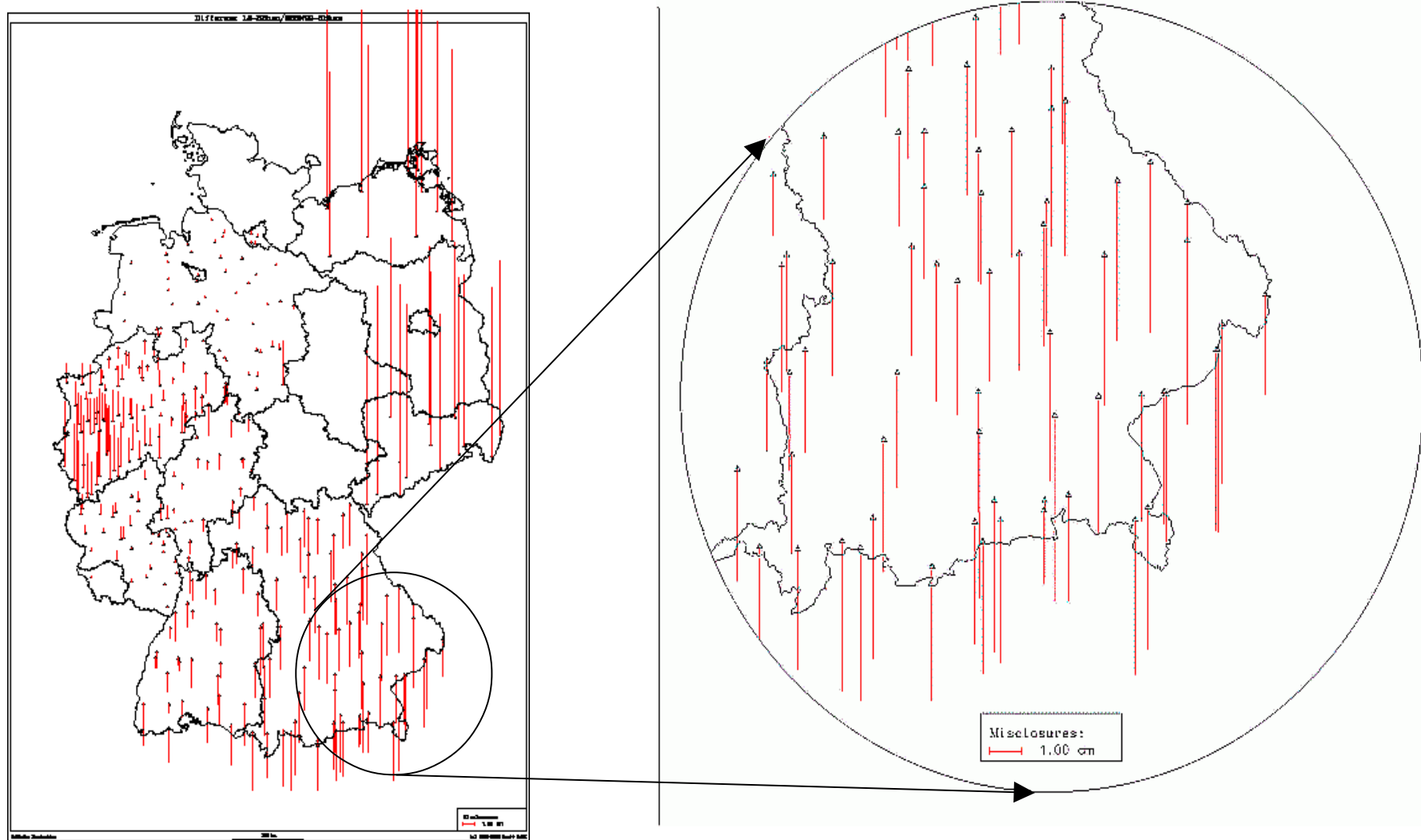
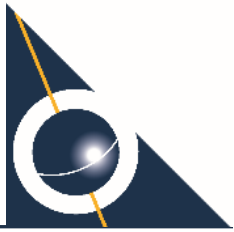
GNTRANS – Horizontale Residuen nach 7P- Transformation



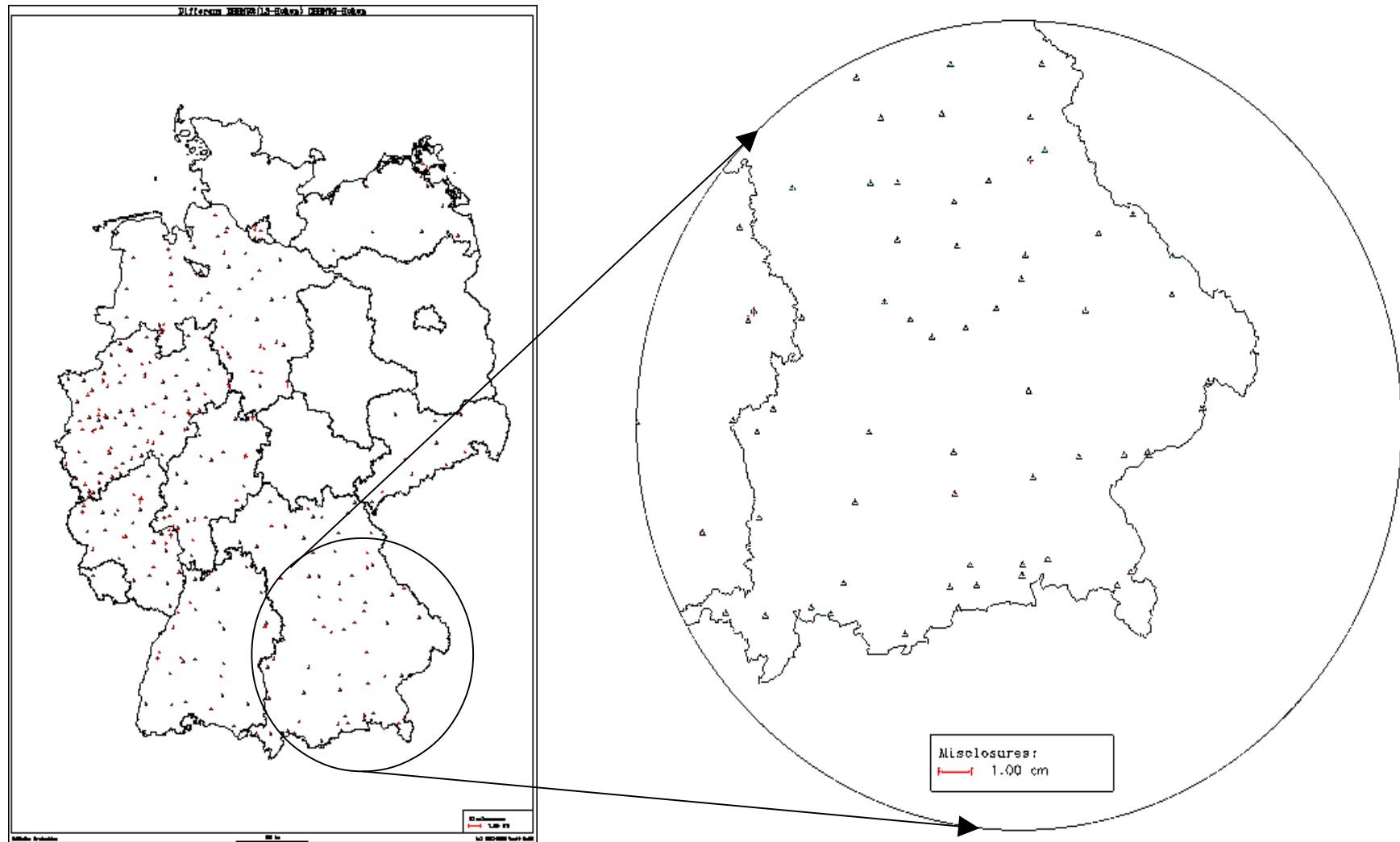
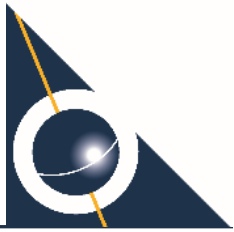
GNTRANS – Horizontale Residuen nach mehrstufiger Transformation



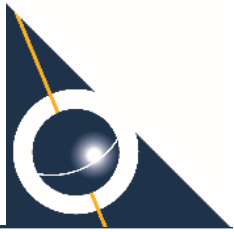
GNTRANS – Höhendifferenzen Amtliche Systeme/DHHN 92



GNTRANS – Höhenresiduen nach vollständiger Transformation



GNTRANS – Genauigkeit bundesweites Modul



- innere Genauigkeit
(formelle Genauigkeit der Ausgleichung)

<i>Bereich</i>	<i>sx [m]</i>	<i>sy [m]</i>	<i>sz [m]</i>
DHDN	0.010	0.010	0.010
STN	0.001	0.002	0.001
BRAN	0.000	0.000	<0.010

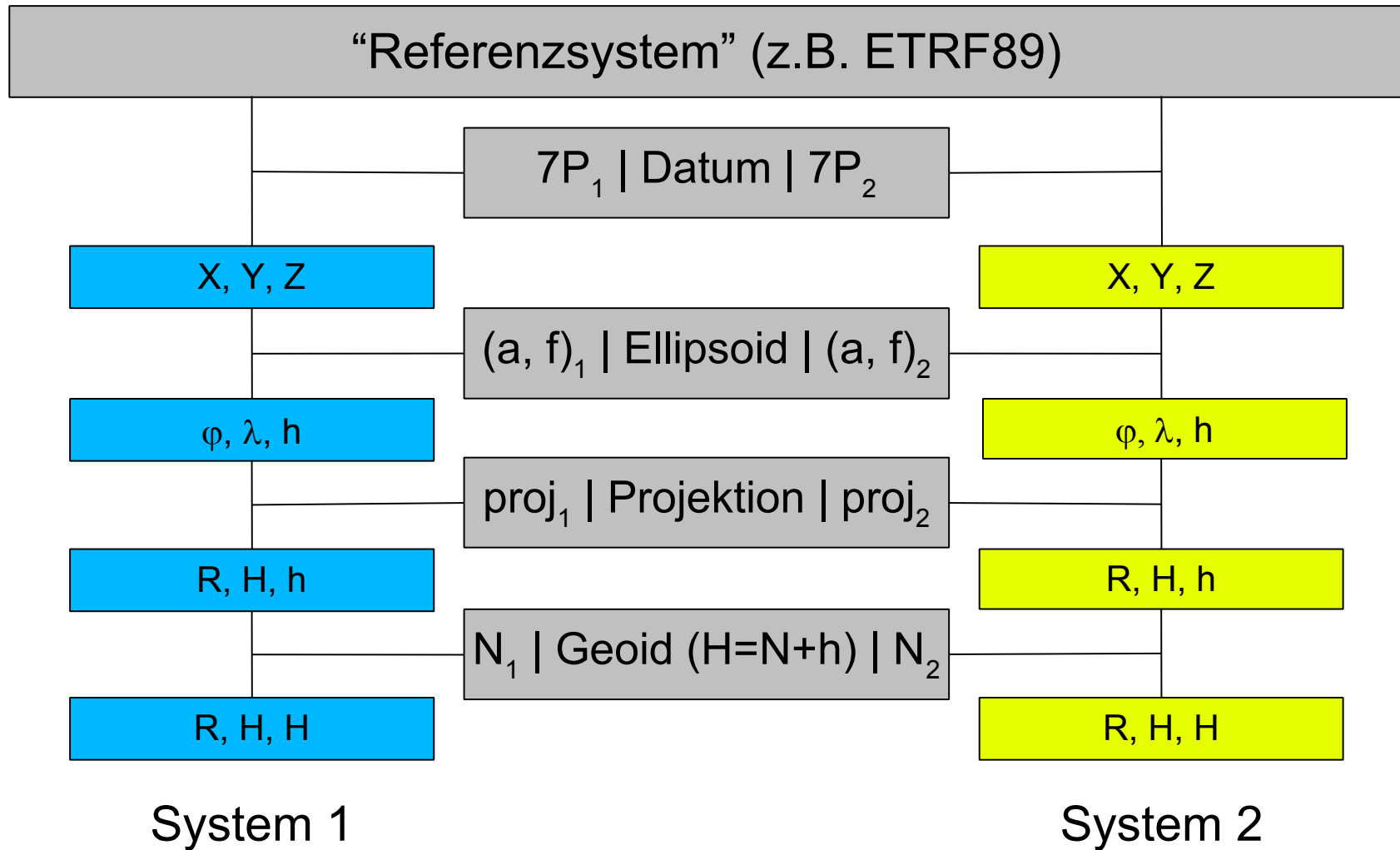
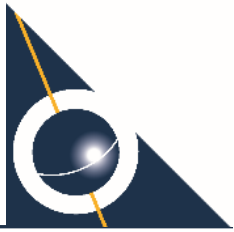
- äußere Genauigkeit
(sequentielle Elimination eines Stützpunktes und Transformation genau dieses Punktes; pessimistische Abschätzung aufgrund Ausdünnung)

<i>Bereich</i>	<i>sx [m]</i>	<i>sy [m]</i>	<i>sz [m]</i>
DHDN	0.047	0.046	0.027
STN	0.007	0.013	0.006
BRAN	0.000	0.000	0.010

DHDN Datum der früheren westdeutschen Länder
STN Datum der früheren ostdeutschen Länder
BRAN Datum des Landes Brandenburg

sx, sy Nord- Ost- Lagekomponente
sz Höhenkomponente

Prinzip der GNTRANS Transformation - Koordinatensysteme

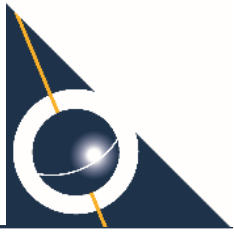




- GNTRANS
 - wurde ab 2001 entwickelt
 - **identischen Koordinaten** der Landesvermessungen mit **Stand 2001**
 - **einzige bundesweiter Transformationsansatz** bei Einführung*
 - für Lage und Höhe
 - mit Genauigkeit besser dm
- AdV/Bundesländer
 - **bundesweite** Transformation
 - **Beta2007** (Lage, westliche Bundesländer)
 - Transformationslösungen der Ländern
 - unterschiedlicher Stand der Umstellung auf ETRS89/UTM
 - **landesspezifische Transformationslösungen** (Lage)
 - im allgemeinen **nicht abgestimmt** an Bundeslandgrenzen
 - **nicht flächendeckend** für alle Bundesländern (Stand 2016)

* 2004 Umsetzung abgeschlossen

Beziehungen der Höhensysteme AdV und DB AG



- **DHHN92, DHHN2016 (AdV)**

- $H_{\text{DHHN92}} = h_{\text{ell. ETRF89}} - N_{\text{GCG2011}}$
 - $H_{\text{DHHN2016}} = h_{\text{ell. ETRF89}} - N_{\text{GCG2016}}$

Annahme:
identische ellipsoidische
Höhe $h_{\text{ell. ETRF89}}$

- **DB_REF/GNTRANS*, DB_REF2016 (DB Netz)**

- $H_{\text{DB_REF}}^* = h_{\text{ell. ETRF89}} - N_{\text{EGG97}^{**}}$
 - $H_{\text{DB_REF2016}} = h_{\text{ell. ETRF89}} - N_{\text{GCG2016}}$

* Realisierung GNTRANS
** Lagerung speziell angepasst:
geodätische Lagerung (z.B. DHDN in
drei Basispunkten Meppen, Göttingen und Bonn)

- **Vergleichbarkeit**

- $H_{\text{DB_REF}}^*$ **ungleich** H_{DHHN92}
 - $H_{\text{DB_REF2016}}$ **gleich** H_{DHHN2016}

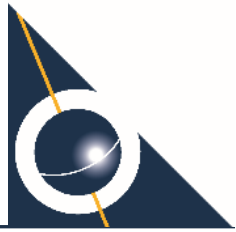
- **Größenordnung**

- H_{DHHN92} vs H_{DHHN2016} absolut 2 ... 5 cm; relativ sehr genau
 - $H_{\text{DB_REF}}^*$ vs $H_{\text{DB_REF2016}}$ absolut 2 ... 10 cm, relativ sehr genau

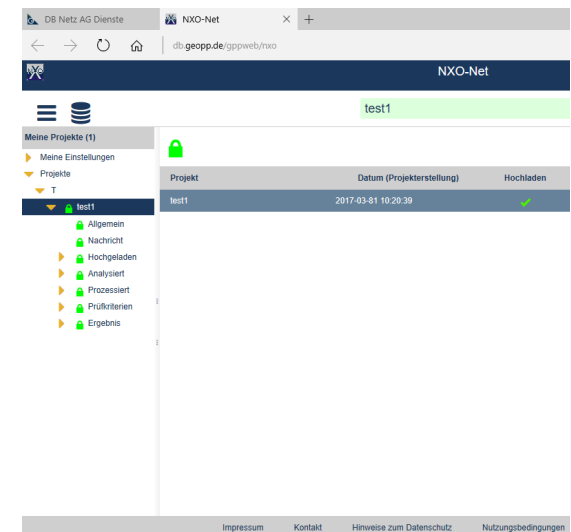
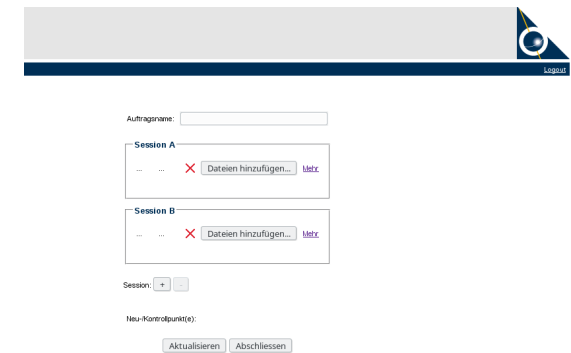


- Satellitengeodäsie
 - Moderne Koordinatensysteme
- Koordinatensystem DB_REF
 - DB Netz AG Historie, Situation, Anforderungen, ...
 - Amtliche Koordinaten
 - Definition DB_REF/DB_REF2016
- Anwendungen
 - Geo++[®] GNTRANS
 - DB_REF Netz
 - NXO-Net Server
- Zusammenfassung

NXO-Net Server



- NXO beta (seit 2008, bis 2017)
 - Aufgaben
 - **einheitliche und konsistente** Berechnung zu GNSS Auswertung im NXO-Projekt
 - reine **GNSS Auswertung** (GPS)
 - Erneuerung/Kontrolle von PS0 Punkten
- NXO-Net
 - Aufgaben
 - **einheitliche und konsistente** Berechnung zu GNSS Auswertung im NXO-Projekt
 - **GNSS Auswertung** (GPS, GLONASS)
 - Integration von **terrestrischen Messungen**
 - **einheitliche** Analysen und **Kontrollen**
 - automatisierter und standardisierter **Abnahmeprozess**
 - **Punktdatenbank** für PS0- und PS1-Punkte





- **satellitengestützte Anwendungen** fordern homogene Koordinatensysteme
- inhomogene Koordinatenvielfalt in Deutschland, laufende Umstellung nach ETRF89 in der AdV
- **DB_REF/DB_REF2016** ist **homogenes Koordinatensystem** und ETRS89 Umsetzung der DB Netz AG
- Anwendungen des DB_REF
 - Realisierung **DB_REF Netz** als trassennahen Referenzstationen
 - homogene Transformation ins **DB_REF** (Höhe mit GNTRANS)
 - homogene Transformation **DB_REF2016** (Höhe mit GCG2016)
 - NXO-Net Server als **einheitliche, konsistente** Berechnung mit standardisiertem **Abnahmeprozess und Punktdatenbank**